

стальных лент 1,4x295 мм из стали 08кп – 1,32; на стане 400/1000x500 для стальных лент 1,0x295 мм из стали 08кп – 1,45.

Выводы: при асимметричной прокатке холоднокатаных полос и лент и на непрерывном, и на реверсивных станах коэффициент выравнивания продольной разнотолщинности увеличивается. Доля увеличения коэффициента выравнивания, при постоянном модуле жесткости клетки, зависит от изменения модуля жесткости полосы при асимметричной прокатке и его абсолютного значения.

Список литературы: 1. Рудской А.И. Теория и технология прокатного производства: Учебное пособие [Текст] / А.И.Рудской, В.А.Лунев. - СПб.: Наука, 2008. – 527 с. 2. Кулик А.Н. Влияние кинематической асимметрии на силу прокатки в чистовых рабочих клетях толстолистовых станов / А.Н.Кулик, А.В.Данько, К.Ю.Юрков, А.А.Фрайчак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: тематик. зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – С. 269-273. 3. Максимов Е.А. Исследование нового механизма снижения давления и повышения обжатий при несимметричной прокатке / Е.А.Максимов // Металлообработка. - 2010. - № 1. - С. 46–49. 4. Агеев Л.М. Управляющие воздействия на форму полосы при прокатке / Л.М.Агеев // Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16-19 окт., 2001. Т. 1. - М., 2002. - С. 192-197. 5. Максимов Е.А. Повышение качества и улучшение планшетности полос из коррозионностойкой стали при саморегулировании процесса несимметричной прокатки / Е.А.Максимов // Технология металлов. - 2010. - № 9. – С. 19-24. 6. Управление шероховатостью лент с помощью несимметричной прокатки / В.Е.Лунев, И.Г.Шубин, М.И.Румянцев и др. // Производство проката. - 2003. - № 6. - С. 28-29. 7. Влияние сдвиговой прокатки на текстуры деформации фольги из алюминия высокой чистоты / L.Aiqiang, J.Qiwu, W.Fu and ect. // Jinshu xuebao. - 2002. - 38. - № 9. - С. 974-978. 8. Sidorov Ju. Microstructural and crystallographic aspects of conventional and asymmetric rolling processes / Ju.Sidorov, A.Miroux, R.Petrov, L.Kestens // Acta materials. - 2008. - 56, № 11. - P. 2495-2507. 9. Меерович И.М. Повышение точности листового проката [Текст] / И.М.Меерович, А.И.Герцев, В.С.Горелик, Э.Я.Класен.- М.: Металлургия, 1969. - 262 с.

УДК 621.771.06-114.002.2

ПАЛАМАРЬ Д.Г., мл. науч. сотр.

РАЗДОБРЕЕВ В.Г., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

ИЧМ НАНУ, Днепропетровск

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНЫХ МЕЛКОСОРТНЫХ СТАНОВ

Разработан способ производства сортового проката, обеспечивающий компенсацию неравномерного распределения температуры по длине раската путем создания обратного температурного клина при задаче заготовки в первую рабочую клетку стана. Предложенный способ производства сортового проката позволяет без усложнения технологического процесса и дополнительных затрат обеспечить снижение расхода энергии при производстве, а также повысить качество готовой металлопродукции.

Розроблено спосіб виробництва сортового прокату, що забезпечує компенсацію нерівномірного розподілу температури по довжині розкату шляхом створення зворотного температурного клину при задачі заготівки в першу робочу кліть стану. Запропонований спосіб виробництва сортового прокату дозволяє без ускладнення технологічного процесу і додаткових витрат

забезпечити зниження витрати енергії при виробництві, а також підвищити якість готової металопродукції.

The way of manufacture rolled the metal's of hire ensuring indemnification of non-uniform distribution of temperature on length of the roll by creation of a return temperature wedge at a task of preparation in first the worker rolling mill is developed. The offered way of manufacture rolled the metal's of hire allows without complication of technological process and additional expenses to ensure decrease of the charge of energy by manufacture, and also to raise quality ready the products of metal.

Постановка проблемы. В сложившихся условиях развития экономики перед металлургическими предприятиями с особой остротой стоят проблемы повышения конкурентоспособности проката на внутреннем и внешнем рынках при его производстве за счет снижения энергетических и материальных затрат, повышения качества готовых изделий и производительности труда. Качество металлопродукции формируется на всех металлургических переделах производственного процесса и определяется техническим уровнем оборудования и технологии. Вместе с тем наибольшее влияние на качество готового металла оказывают изменения в технологии и оборудовании сталеплавильного и прокатного производства, а также развитие оборудования и цехов четвертого передела, которое способствует повышению степени готовности металлопродукции к потреблению и приводит к снижению затрат металлопотребляющих отраслей на дополнительную обработку металла [1].

Современные непрерывные мелкосортные станы – это механизированные поточные линии с последовательным расположением клетей и комплексом вспомогательного оборудования, действующего синхронно со станом. Применение этих станов наиболее эффективно при значительных объемах производства проката массового назначения.

Установленные на металлургических предприятиях СНГ непрерывные мелкосортные станы с номинальным диаметром валков чистовых клетей 250-350 мм рассчитаны на максимальную скорость прокатки до 20 м/с [2].

Несмотря на то, что за период эксплуатации отечественных прокатных станов на них был реализован ряд реконструктивных мероприятий, направленных на повышение эффективности производства, в частности – повышение точности прокатки, увеличение производительности станов, повышение эксплуатационной стойкости и надежности работы технологического оборудования, необходимо отметить, что оно на сегодняшний момент, в большинстве своем, в значительной степени морально устарело и физически изношено. Вместе с тем, планами развития металлургических предприятий, в настоящее время предусматривается вложение основных средств в реконструкцию первых металлургических переделов – аглодоменного и сталеплавильного. Существенные капитальные вложения в реконструкцию прокатного передела, согласно планам металлургических предприятий, следует ожидать после 2015 года. Тем не менее, повышение эффективности производства сортопрокатной продукции, экономия энергетических и материальных ресурсов в процессе ее изготовления не теряет своей актуальности. И на сегодняшний день эти задачи решаются путем совершенствования существующих технологических режимов прокатки на действующих прокатных станах при незначительных объемах реконструктивных мероприятий.

Одной из основных особенностей процесса непрерывной сортовой прокатки является понижение температуры от передней к задней части заготовки вследствие различного времени охлаждения по ее длине при задаче в первую клетку стана. По мере прохождения заготовки через валки первой клетки задний конец ее остывает, что вызывает неравномерность распределения температуры по длине заготовки и приводит к изменению межклетевых усилий и размеров раската по его длине. Совместное влияние изменения межклетевых усилий и температуры прокатки по длине раската снижает точность размеров по длине готового профиля.

Различная температура конца прокатки приводит к изменению свойств и структуры по длине готового проката при постоянных параметрах охлаждения после стана [2–5]. Кроме того, снижение температуры металла от передней к задней части заготовки требует повышения температуры нагрева заготовок для предотвращения перегрузки линий главных приводов стана.

Неравномерность температуры по длине заготовки зависит от температуры нагрева металла в печи и времени прокатки заготовки в первой клетке, которое определяется суммарной вытяжкой, скоростью прокатки и длиной заготовки.

Проведенные исследования показали, что такой характер изменения температуры сохраняется на протяжении всего процесса прокатки на стане и совпадает с характером изменения величины тока двигателей приводных линий клеток стана, что создает трудности в настройке и поддержании режима минимального натяжения при прокатке [6, 7].

Известны различные подходы к производству сортового проката на типовом непрерывном мелкосортном стане, в которых сделана попытка компенсировать неравномерность распределения температуры по длине заготовки.

Согласно одному из них последнюю треть заготовки (ее хвостовую часть) нагревают перед прокаткой до более высокой температуры, чем переднюю [8].

К недостаткам этого подхода относятся:

- отсутствие регламента создаваемой температурной неравномерности в зависимости от деформационно–скоростных параметров прокатки и температурных условий нагрева заготовок;
- повышенный нагрев только последней трети заготовки не компенсирует температурную неравномерность, возникающую по длине всей заготовки;
- затруднение работы системы автоматического регулирования скоростного режима прокатки по клетям стана, обеспечивающей стабильность межклетевых усилий.

Другой подход предполагает коррекцию режима обжаты металла при прокатке [9]. Его реализация требует специальных систем автоматического регулирования режима обжаты на стане, что усложняет его применение.

Согласно третьему подходу скорость выдачи заготовок из печи устанавливают равной скорости ее задачи в первую клетку [10]. Реализация этого подхода из-за увеличенного времени нахождения заготовки перед станом увеличивает общие потери тепла, что влечет за собой увеличения расхода энергии при нагреве заготовок в печи или при прокатке их на стане.

Целью исследования является разработка способа производства сортового проката, обеспечивающего компенсацию неравномерного распределения температуры по длине раската (температурного клина) за счет создания регламентированного обратного температурного клина при задаче заготовки в первую клетку стана. Обратный температурный клин создается при нагреве заготовки в нагревательной печи, а его величина определяется в зависимости от деформационно–скоростного режима прокатки и условий нагрева заготовки в печи [11].

Это позволит снизить расход энергии на нагрев заготовок без перегрузки линий главных приводов стана, а также повысить точность геометрических размеров по длине и в партии готового проката, стабилизировать работу систем автоматического управления и регулирования процесса прокатки на стане и повысить стабильность свойств и структуры по длине готового проката.

Изложение основных материалов исследований. Суть предложенного способа состоит в том, что заготовку квадратного сечения, предназначенную для прокатки некоторого профиля с регламентированными деформационно–скоростными условиями, нагревают таким образом, чтобы при выдаче заготовки из печи имел место температурный клин, характеризующийся увеличенной температурой заднего конца заготовки по отношению к ее переднему концу. При этом температурный градиент при нагреве заготовки устанавливают исходя из соотношения:

$$\Delta t = \left(A - B \cdot \frac{F}{P} + C \cdot \frac{F^2}{P^2} \right) \frac{l_0}{v_0},$$

где $A = 5,965 \cdot 10^{-3} t_0 - 3,6491$; $B = 1,58 \cdot 10^{-4} t_0 - 0,07193$; $C = 1,3158 \cdot 10^{-6} t_0 - 3,158 \cdot 10^{-4}$;

t_0 – температура нагрева переднего конца заготовок, °С;

F – площадь поперечного сечения заготовки, мм²;

P – периметр заготовки, мм;

l_0 – длина заготовки, м;

v_0 – скорость заготовки на входе в стан, м/с.

Это соотношение получено в результате статистической обработки экспериментальных данных при производстве сортового проката широкого размерного сортамента из заготовок квадратного сечения размерами 80x80, 100x100, 125x125 и 150x150 мм на непрерывных мелкосортных и мелкосортно – проволочных станах.

В процессе проведения исследований температура нагрева заготовок варьировалась в пределах 850–1250°С, а скорость прокатки – от 10 до 20 м/с. Варьирование деформационно–скоростными параметрами прокатки μ_Σ и v_0 обеспечивалось использованием различных сечений и длин l_0 исходных заготовок при прокатке различных профилеразмеров проката в условиях указанных станов.

Так как время прохождения заготовки после захвата 1–й клетью определяется, как отношение $\tau = \frac{l_0}{v_0}$, то в процессе исследований заготовки нагревали со встроенными по сечению термопарами, затем заготовки

выдерживали перед станом и определяли падение температуры (Δt) в зависимости от времени τ для разных сечений (F/P). На основании статистической обработки результатов экспериментов была получена зависимость температурного градиента, как функции указанных параметров

$$\Delta t = f(F/P, t_0, \tau).$$

Диапазон исследований охватывает практически весь размерный сортамент исходной заготовки и готовой продукции современных мелкосортных станов. Это позволяет использовать предлагаемый способ на различных станах, причем особенно эффективно его использование при освоении новых профилиразмеров сортамента стана, реконструкции станов, предусматривающей, например, изменение температуры нагрева заготовок, скорости прокатки и размеров сечения исходных заготовок.

Указанный способ производства был опробован на непрерывных мелкосортных станах 250–1 и 250–5 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» при прокатке арматурных профилей №12, №14, №16 и №18. Для производства арматурных профилей на этих станах используется заготовка сечением 80х80 мм и длиной 12 м. В качестве примера представлены данные для арматурного профиля №14 из стали марки Ст.3сп класса прочности А240С, произведенного на непрерывном мелкосортном стане 250–1. Условия прокатки этого профиля характеризуются суммарной вытяжкой $\mu_{\Sigma} = 40,506$, скоростью прокатки $v_{пр} = 15,0$ м/с, температурой начала прокатки 1150°C и температурой конца прокатки $\sim 1100^{\circ}\text{C}$. Температуру нагрева заготовки под прокатку t_0 варьировалась в диапазоне от 900 до 1200°C с шагом 50°C . Перепад температур между зонами нагревательной печи, определяющий температурный клин по длине заготовки от ее переднего конца к заднему, для условий прокатки арматурного профиля №14 при $t_0 = 900^{\circ}\text{C}$ составляет $\Delta t = 19,5^{\circ}\text{C}$; при $t_0 = 950^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t = 24,4^{\circ}\text{C}$; при $t_0 = 1000^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t = 29,4^{\circ}\text{C}$ при $t_0 = 1050^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t = 33,6^{\circ}\text{C}$; при $t_0 = 1150^{\circ}\text{C}$ – $\Delta t = 44,1^{\circ}\text{C}$ при $t_0 = 1200^{\circ}$ – $\Delta t = 49,7^{\circ}\text{C}$. Условия реализации способа прокатки арматурных профилей на непрерывных мелкосортных станах 250–4 и 250–5 описываются номограммой, представленной на рисунке.

Например, при температуре начала прокатки 1150°C по действующей технологии производства арматурного проката диаметром 14 мм в линии непрерывного мелкосортного стана 250–5 перепад температур переднего и заднего концов заготовки составит $44,1^{\circ}\text{C}$. Плавочный химический состав низкоуглеродистой стали марки Ст.3сп. следующий (%): С=0,16; Мп=0,49; Si=0,21; S=0,030; P=0,014. Для прокатки отбирали заготовки от средней части слитка. Проведение контрольного анализа химического состава передней и задней частей заготовок показало совпадение содержания основных химических элементов и незначительно отличалось от плавочного (%): С=0,164; Мп=0,52; Si=0,22; S=0,030; P=0,016. Проведение механических испытаний на растяжение арматурного профиля №14 класса прочности А240С по ДСТУ 3760:2006 показало следующее. Прочностные характеристики стержневой арматуры, отобранные от переднего отрезка заготовки в среднем (средние значения из 40 испытаний) составляли: временное сопротивление разрыву $\sigma_B = 440 \text{ Н/мм}^2$, предел текучести $\sigma_T = 306 \text{ Н/мм}^2$, а отобранные от заднего отрезка этой же заготовки соответственно

$\sigma_B=457 \text{ Н/мм}^2$ и $\sigma_T=331 \text{ Н/мм}^2$. Средние значения пластических свойств арматурного проката, отобранные от переднего отрезка заготовки $\delta_5=42,4 \%$, а отобранные от заднего отрезка заготовки $\delta_5=40,4 \%$. Нормативные значения прочностных и пластических свойств арматурного проката класса прочности А240С по ДСТУ 3760:2006 составляют: $\sigma_B \geq 370 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T \geq 240 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 25 \%$. Полученные данные механических свойств в готовом прокате удовлетворяют требованиям ДСТУ 3760:2006 на этот вид металлопродукции. Вместе с тем необходимо отметить, что все значения механических характеристик арматурного профиля №14, отобранные от переднего и заднего концов одной заготовки отличаются. Это связано с перепадом температур переднего и заднего концов заготовки, нагретой в методической печи мелкосортного стана МС 250–5. Микроструктура образцов арматурного проката, отобранного от переднего и заднего отрезков одной заготовки, была одинаковой и представляла собой феррито–перлитную смесь.

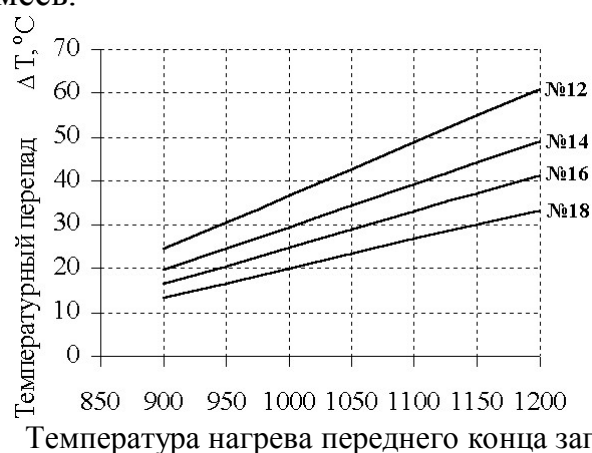


Рис. – Номограмма для определения необходимого температурного перепада по длине заготовки в зависимости от температуры нагрева на типовом непрерывном мелкосортном стане 250 для профилей различного сечения

Соблюдение указанного регламента нагрева исходных заготовок на типовом непрерывном мелкосортном стане 250 позволяет компенсировать температурный клин, образующийся при задаче заготовок в первую клеть стана, обратным температурным клином, создаваемым при нагреве заготовок в печи, что позволяет стабилизировать температуру прокатки в каждой клетке непрерывного мелкосортного стана. Проведение механических испытаний натурных образцов арматурного проката, произведенного от одной заготовки после регламентации температурного режима нагрева заготовки в нагревательной печи МС 250–1 показало, что средние значения прочностных свойств стержневой арматуры, отобранных от передней части заготовки составило: временное сопротивление разрыву $\sigma_B=442 \text{ Н/мм}^2$, предел текучести $\sigma_T=310 \text{ Н/мм}^2$, а отобранные от заднего отрезка этой же заготовки соответственно $\sigma_B=444 \text{ Н/мм}^2$ и $\sigma_T=313 \text{ Н/мм}^2$. Средние значения пластических свойств арматурного проката, отобранные от переднего отрезка заготовки $\delta_5=41,4 \%$, а отобранные от заднего отрезка заготовки $\delta_5=41,0 \%$. Как видно разброс по механическим свойствам переднего и заднего отрезков от одной заготовки сведен к минимуму. Микроструктура образцов представляла феррито–перлитную смесь.

При этом несоблюдение перепада температур Δt в этом случае приведет к необходимости увеличения температуры нагрева заготовок, чтобы предупредить повышение нагрузок в линиях главных приводов стана при прокатке заднего охлажденного конца раската. Различная температура раската по длине приводит к изменению параметров очагов деформации в рабочих клетях стана, в частности, условия трения на контакте металла с валками, что вносит нестабильность в геометрические параметры готового проката. Причем превышение установленного Δt приведет к утонению заднего конца готового проката вследствие избыточной компенсации температурного клина, а уменьшение Δt ниже установленного приведет к утолщению заднего конца вследствие недостаточной компенсации указанного температурного клина. При этом, как в том, так и в другом случае увеличится разброс механических свойств по длине готового проката.

Выводы.

1. Разработан способ производства сортового проката, обеспечивающий компенсацию неравномерного распределения температуры по длине заготовки при задаче ее в первую клетку стана.

2. Проведенные промышленные эксперименты в условиях непрерывных мелкосортных станов МС 250–1 и МС 250–5 показали, что предлагаемый способ производства арматурного проката обеспечивает получение минимального разброса значений механических свойств по длине раската, получаемого от одной заготовки.

3. Реализация этого способа без усложнения технологического процесса и без дополнительных капитальных затрат на его реализацию обеспечивает снижение расхода энергии при производстве сортового проката, и способствует повышению точности размеров и стабилизации механических свойств и структуры металла по длине готового профиля, а также стабилизации работы систем автоматического управления и регулирования процесса прокатки на станах.

Список литературы: 1. Жучков С.М. Оптимизация расхода энергии при непрерывной сортовой прокатке / С.М. Жучков, А.П. Лохматов, Л.Г. Кулаков. – К.: Наукова думка, 2008. – 191 с. 2. Бочков Н.Г. Производство качественного металла на современных сортовых станах / Н.Г. Бочков. – М.: Металлургия, 1988. – 312 с. 3. Термическое упрочнение проката / [К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов, В.Я. Савенков и др.]. – М.: Металлургия, 1970. – 368 с. 4. Высокопрочная арматурная сталь / [А.А. Кузущин, И.Г. Узлов, В.В. Калмыков и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с. 5. Управляемое термическое упрочнение проката / И.Г. Узлов, В.В. Парусов, Р.В. Гвоздев, О.В. Филонов. – К.: Техника, 1989. – 118 с. 6. Теряев В.А. Особенности использования пирометров излучения типа АПИР–С при исследовании температурных режимов прокатки на непрерывных сортовых станах // В.А. Теряев, А.П. Лохматов, С.М. Жучков, В.Л. Шибаев // Отраслевой сборник научных трудов. – Харьков. – УкрНИИМет. – С.61–68. 7. Жучков С.М. Калибровка валков и особенности технологии прокатки сортовых профилей на стане 320/150 Белорусского металлургического завода / С.М. Жучков, Л.В. Кулаков, Э.В. Сивак и [др.] // Бюллетень ин-та «Черметинформация». – 1989. – № 8. – С.58–61. 8. Мюллер П. Улучшение качества продукции прокатных станов для производства длинномерных изделий / П. Мюллер // Металлургический завод и технология (МРТ). – Изд-во: Штальайзен ГмбХ. – Дюссельдорф. – 1989. – С.39. 9. Заявка №61–19321 Япония МПК В21В 37/00. – 1983. 10. А. с. 984515 СССР МПК В21В 1/26. – 1982. 11. Пат. №75995 Украина. Способ производства сортового проката на непрерывном стане // 2006. Бюл. №6.